

Tapio Hiltula

BIOVOIMALAITOKSEN MITOITUS

Kemiantekniikan koulutusohjelma
2015

BIOKAASULAITOKSEN MITOITUS

Hiltula, Tapio
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Elokuu 2015
Ohjaaja: Hannelius, Timo; lehtori, SAMK
Sivumäärä:
Liitteitä:

Asiasanat: Biokaasu, Mädätys

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä tehdään esisuunnitelma biokaasulaitokselle, joka on tarkoitus käynnistää Turussa. Työssä selvitetään myös biokaasun raaka-ainepohjaa ja valmistusprosessia yleisesti. Käydään tarkemmin läpi millainen prosessi ja laitteet Turkuun sijoitettavassa biokaasulaitoksessa on. Pääpaino asetettiin Excel-taulukon laatimiseksi prosessilaskentaa varten, josta ilmenee raaka-aineista saatavan kaasun määrä vuositasolla.

Tehtyyn Excel- taulukkoon voidaan syöttää oletetut jätemäärät, jolloin taulukko laskee niistä saatavan metaanin määrän ja sitä kautta tuotetut sähkö- ja lämpömäärät.

Etuna saavutetaan nyt se, että yritys voi käyttää vain yhtä Excel-ohjelmaa, kun niitä aiemmin oli useita. Näin prosessiparametrien muutokset saadaan näkymään välittömästi seuraavissa vaiheissa. Lisäksi asiakkaille voidaan selkeämmin ja nopeammin esittää eri prosessivariaatioita.

DESIGN OF BIOGAS PLANT

Hiltula, Tapio

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Chemical Engineering

August 2015

Supervisor: Hannelius, Timo; Senior Lecturer, SAMK

Number of pages:

Appendices:

Keywords: Biogas,

ABSTRACT

Purpose of the Thesis was to evaluate preliminary plant design study of the biogas plant, which is supposed to be started in Turku region. Biogas raw material base and production conditions generally were introduced. Process conditions and equipments, which will be installed in Turku biogas plant, are explained more precisely. Special attention was paid on the Excel-program, which is used for process calculations and which indicates amount of produced biogas on annual basis.

Expected waste volumes can be fed into the Excel-table, which calculates the amount of methane produced in the plant. Electricity and heat production received from combustion of methane can be determined. Significant benefit is received, because now there is only one program in use instead of several ones before. In addition, effects of different process variations and modifications on the later stages can be shown to customers more clearly and rapidly.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	BIOKAASU	7
2.1	Biokaasu	7
2.2	Biokaasun raaka-aineet	8
2.3	Prosessivaihtoehdot	8
2.3.1	Märkämädätys	9
2.3.2	Kuivämädätys.....	9
3	BIOKAASU SUOMESSA JA MAAILMALLA	11
4	PROSESSI.....	12
4.1	Tuotteen vastaanotto	12
4.2	Nosturi	12
4.3	Syöttösiilo	12
4.3.1	Turbo	13
4.4	Kuljetin	13
4.5	Murskain	13
4.6	Sekoitusallas	14
4.7	Hygienisointi.....	14
4.8	Reaktori	15
4.9	Kaasun käsittely	16
4.10	Soihtu	16
4.11	CHP	17
4.12	Lannoitteen varastointi	17
5	EXCEL	19
5.1	Prosessiteknillinen laskenta	19
5.1.1	Laskuesimerkki	20
	LÄHTEET.....	22
	LIITTEET	

SANASTO

m^3 = normaali kuutio

ymppi = mikrobikanta

VS = Volatile Solids = orgaanisen aineksen määrä

TS = Total Solids = kiintoaineen määrä

1 JOHDANTO

Recwell Oy on vuonna 2012 perustettu ympäristöteknologiaan erikoistunut yritys, jonka päätoimialat on jätevedenpuhdistus ja biokaasulaitokset. Tällä hetkellä Recwellillä on kaksi erillistä biokaasu projektia, joiden pääasiallinen projektointitapa on EPCM (engineering, procurement and construction management) (suunnittelu, hankinta ja rakentamisen johtaminen). Tarkoittaen, että Recwell tekee laitoksen esisuunnittelun, mikä tapahtuu ennen investointipäätöstä. Sen jälkeen laitossuunnittelun, hankintatoiminnot siten, että Recwell kilpailuttaa pääkomponentit ja urakat ja asiakas ostaa ne suoraan toimittajalta. Näin asiakas pystyy itse vaikuttamaan laitoksen hintaan ja laatuun. Tämän jälkeen Recwell valvoo laitoksen rakentamista ja käyttöönottoa.

Kyseisessä työssä on kohteena Turkuun rakennettava biokaasulaitos, joka käyttää raaka-aineena pääasiassa elintarvike teollisuudesta ja kaupoista syntyviä jätevirtoja. Tämän työn tarkoituksena on kehittää excel pohjainen taulukko laskenta ohjelmistolla toteutettu työkalu prosessilaskentaan, joka linkitetään Recwell Oy:n olemassaolevaan laitoksen talouslaskenta ja kassavirta analyysiin. Lopputuloksena on yksi yhtenäinen työkalu, millä voidaan nopeasti ja tehokkaasti suorittaa uusien laitospaikkojen esisuunnittelu ja hinnoittelu, joka on pohjana asiakkaiden investointi päätöksille.

Kyseiselle laitokselle on haettu ympäristölupaa vuonna 2013 ja se on myös myönnetty samana vuonna, mutta nykyisen taloudellisen tilanteen ja rahoitus ongelmien takia laitoksen rakentamisesta ei ole vielä aloitettu.

2 BIOKAASU

2.1 Biokaasu

Biokaasu on pääasiassa metaania (CH_4) ja hiilidioksia (CO_2). Biokaasua muodostuu luonnossa, esimerkiksi soilla, että biokaasureaktoreissa ja kaatopaikoilla.

Reaktorilaitoksissa biokaasun metaanipitoisuus on yleensä 40–70% ja hiilidioksidipitoisuus 30–60%. Metaanin ja hiilidioksidin lisäksi biokaasu saattaa sisältää myös pieniä määriä vesihöyryä (H_2O), typpeä (N_2), happea (O_2), vetyä (H_2), ammoniakkia (NH_3) ja rikkivetyä (H_2S). Yleensä niiden pitoisuudet ovat kuitenkin alle yhden prosentin. Kaatopaikoilla kaasu saattaa kuitenkin sisältää suuria määriä typpeä ja happea.

Biokaasun metaanipitoisuus riittää suoraan hyötykäyttöön sähkön ja/tai lämmön tuotannossa. Biokaasussa oleva mahdollinen rikkivety voidaan poistaa vesipesulla ja kosteus voidaan poistaa vedenerottimien tai kuivaimen avulla.

Biokaasun tai metaanin määrä ilmoitetaan normaalisti normaalikuutioiden (n-m^3). Normaalikuutio tarkoittaa yhtä kuutiota normaalissa ilmanpaineessa 101,3 kPa ja 0°C lämpötilassa. Lämpöarvo ilmoitetaan jouleina massaa (J/kg) tai tilavuutta kohti (J/m^3) tai kilowattitunteina kuutiota kohti (kWh/n-m^3). Puhtaan metaanin lämpöarvo (lower heating value, LHV) on n. 50 MJ/kg (36 MJ/n-m³) eli 10 kWh/n-m³. Yksi kuutio puhdasta metaania vastaa lämpöarvoltaan suurin piirtein yhtä litraa polttoöljyä.

Hiilidioksidia (CO_2) syntyy aina bakteeritoiminnan sivutuotteena myös anaerobisissa olosuhteissa, mutta se on tarpeetonta biokaasun energiahyötykäyttöä ajatellen.

Kaikki kuiva-aines ei hajoa mädätysprosessin aikana. Jäljelle jäävää ainesta, joka voi olla kiinteää ja/tai nestemäistä, kutsutaan mädätteeksi. Koska biokaasuprosessi on suljettu, mädäte sisältää raaka-aineen alun perin sisältämät ravinteet, kuten typen (nestemäinen) ja fosforin (kiinteä), ja on siksi hyvää lannoitetta. Mädätysprosessin aikana typpi on muuttunut nitraattimuodosta (NO_3^{2-}) kasvien nopeasti käytettävissä olevaan ammonium-muotoon (NH_4^+), mikä parantaa lannoitusvaikutusta käsittelemättömään ainekseen verrattuna sekä vähentää typpivalumia vesistöihin. (Bioste)

2.2 Biokaasun raaka-aineet

Biokaasun raaka-aineeksi kelpaavat helposti hajoavat orgaaniset yhdisteet, kuten lannat, yhdyskuntien ja elintarviketeollisuudet biojätteet, viemärilietteet ja elintarviketeollisuuden jätevedet ja lietteet sekä kasvibiomassat (lehdet, naatit, kuoret, kokonaiset energiakasvit jne.) puuta lukuun ottamatta. Puun sisältämä ligniini hajoaa niin hitaasti, ettei mädätys ole järkevää nykytekniikalla. Sen sijaan paperi, josta ligniini on poistettu, voidaan mädättää muun jätteen seassa.

Pienissä laitoksissa lähellä raaka-aineen syntypaikkaa tuotetun biokaasun energiatase on erinomainen, mutta pitkät kuljetusmatkat heikentävät sitä. Sama pätee bioenergiin ylipäättään. Jos biokaasua halutaan käyttää ajoneuvopolttoaineena, kaasun puhdistus ja paineistus kuluttavat energiaa ja heikentävät energiatasetta.

Jos ruokaketjuun kuuluvista kasveista jostain syystä halutaan tehdä bioenergiaa, siitä on yleensä energiataseen kannalta kannattavinta tehdä biokaasua, koska tällöin voidaan hyödyntää koko kasvi. Esimerkiksi etanolin tuotannossa hyödynnettävä maisinjuväsato on Kanadassa noin 2,5-4 t/ha, mutta jos koko kasvi laitetaan juuresta poikki ja biokaasureaktoriin, saadaan hyödynnettyä yleensä vähintään 50 t/ha. Lämpimämmässä ilmastossa sadot voivat parhaimmillaan olla kaksinkertaiset. Järkevintä olisi tietysti syödä jyvät ja mädättää loppukasvi. Toisaalta taloudellinen kannattavuus ja lajikkeen valinta (ruoka-, rehu- ja energiamaissi ovat eri lajikkeita) asettavat omat reunaehdot. (Bioste)

2.3 Prosessivaihtoehdot

Biokaasun tuotantoprosesseja voidaan jaotella monella eri tavalla, esimerkiksi reaktorin lämpötilan mesofiilisiin ($T \approx 37\text{ }^{\circ}\text{C}$) ja termofiilisiin ($T \approx 55\text{ }^{\circ}\text{C}$) prosesseihin tai syötön koostumuksen mukaan kuivamädätykseen ($TS > 20\%$) ja märkämädätykseen ($TS > 15\%$). Myös jako jatkuvatoimisiin ja panostoimisiin tai yksi- ja kaksivaiheisiin prosesseihin on mahdollinen.

Tässä käytetään jakoa kuiva- ja märkämädätykseen. Huomaa, että kuiva ja vedetön eivät ole synonyymejä. Myös kuivaprosessissa raaka-aineen pitää sisältää vähintään puolet vettä, jotta mikrobit voivat hyvin ja toimivat niin kuin pitää. (Bioste)

2.3.1 Märkämädätys

- Syötön kuiva-ainepitoisuus alle 15 %, pumpattavissa
- Mädätteen kuiva-ainepitoisuus alle 8 %

Märkämädätys on nykyisin suosituin biokaasuprosessi. Reaktorit ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja melko varmatoimisia. Ne sopivat hyvin myös pienten raaka-ainemäärien käsittelyyn. Kaasun tuotto ja raaka-aineen hajoaminen on tasaista. Märkämädätys sopii lietemäisille raaka-aineille, kuten lietelannalle ja elintarviketeollisuuden jätevesille, jotka sisältävät vain vähän kuiva-ainetta. Reaktoriin voidaan lisätä esimerkiksi peltobiomassoja, mikä lisää kaasuntuottoa vaikuttamatta reaktorin koon. (Bioste)

2.3.2 Kuivamädätys

- Syötön kuiva-ainepitoisuus 20–50 %, lapioitavissa
- Mädätteen kuiva-ainepitoisuus 5–20 %

Kuivamädätys yleistyy maailmalla jatkuvasti. Reaktoreita on monenlaisia panostoisista ”autotallimalleista” suuriin jatkuvatoimisiin. Yleensä sekoituksessa on ongelmia ja siten kaasun tuotto ja hajoaminen epätasaista.

Kuivamädätyksessä mädätettävät ainekset ovat kiinteitä, joten reaktorikin sisältää vähemmän vettä kuin märkämädätyksessä ja on siten kooltaan pienempi. Mädätteen koostumus riippuu anaerobisen hajoamisen tehokkuudesta. Se voi olla joko kiinteää tai lietemäistä. Lietemäinen mädäte voidaan kuivata samoin kuin märkäprosessissa syntynyt mädäte. Sekä mädätettä että rejektivettä syntyy huomattavasti vähemmän kuin märkäprosessissa.

Jatkuvatoiminen kuivamädätysreaktori on vaakatasoon asennettu teräksinen tai betoninen putki, jonka sisällä on suuri ruuvi. Mädätettävä aines kulkee putken sisällä ruuvien eteenpäin työntämänä noin yhden metrin päivässä. Samalla aines sekoittuu ja kaasu pääsee purkautumaan massan sisältä. Reaktorin loppupäästä kierrätetään rejektivettä reaktorin alkupäähän. Rejektivesi toimii samalla mikrobiymppeinä. (Bioste)

3 BIOKAASU SUOMESSA JA MAAILMALLA

Biokaasun tuotanto euroopassa tulee lisääntymään, koska EU muutti kaatopaikkoja koskevia lakeja vuonna 2013, jonka seurauksena myös Suomen kaatopaikkoja koskeva asetus muuttui 1.6.2013. Silloin asetettiin rajoituksia muun muassa biohajoavan ja muun orgaanisen yhdyskuntajätteen viemistä kaatopaikoille. Vaikka laki astui voimaan 2013 on siinä kuitenkin siirtymäaika vuoden 2016 alkuun. Lain tarkoituksena on lisätä orgaanisen aineen käyttöä materiaalina ja energiantuotannossa. (Ympäristöministeriö)

Kaatopaikalle viemisen sijasta vaihtoehtoina on käytännössä joko viedä orgaaninen jäte biokaasulaitokseen tai polttolaitokselle, mutta polttaminen ei ole energiatehokasta ja siitä jää silti jäljelle tuhkaa, joka täytyy kuljettaa kaatopaikalle. Biokaasulaitokset voivat hyödyntää lähes kaiken orgaanisen aineen ja kaikki tuotettu materiaali voidaan hyödyntää (sähkö ja lämpö tai polttoaine ja lannoitteet)

Suomessa laitoksia on tällähetkellä n.20, mutta määrän oletetaan vielä kasvavan. Suomessa biokaasun tuotanto on vielä vähäistä, koska Suomessa tukea saa vain sähkön ja lämmön tuotannosta, kun useissa muissa maissa tukea maksetaan myös polttoaineen tuotannosta. Vertailuna mainittakoon Saksa, missä biokaasulaitoksia on jo yli 8000.

4 PROSESSI

4.1 Tuotteen vastaanotto

Laitoksessa on neljä vastaanottosiiloa, joista kolme on kiinteälle aineelle ja yksi pakatulle jätteelle. Jätteen kuljetus autot purkavat jätteen sille osoitettuun siiloon. Hajuhaittojen välttämiseksi jokainen vastaanotto siilon purkupaikka on varustettu nosto-ovella, joka suljetaan purun ajaksi ja alueelle luodaan alipaine, jotta hajukaasut eivät leviä ympäristöön. Lisäksi pesupaikalla on liitännät nestemäisen jätteen vastaanotolle. Nestemäiselle jätteelle on oma 60m³ säiliö.

Jätteitä tuovat jäteautot autot punnitaan ennen ja jälkeen tyhjennyksen. Nestemäiselle jätteelle on myös oma magneettinen määrämittari, joten nestemäistä jätettä tuovia säiliöautoja ei välttämättä tarvitse punnita. Lastin purkamisen jälkeen rekat puhdistetaan ennen siirtymistä takaisin liikenteeseen.

4.2 Nosturi

Vastaanotto siilojen yläpuolella kulkee kiskonostoru, joka on varustettu kahmarilla. Nosturia ohjataan radio-ohjaimella. Kahmarilla jätteet siirretään syöttösiiloihin tai jos jäte on purettu väärään siiloon voidaan se tarvittaessa siirtää oikeaan paikkaan. Jos vastaanottosiiloissa havaitaan jostain sinne kuulumatonta siirretään se myös nosturin avulla epäkurantille jätteelle tarkoitettulle lavalle.

4.3 Syöttösiilo

Laitos on varustettu kolmella syöttösiilolla. Syöttösiiloista kaksi on pakkaamattomalle jätteelle ja yksi on varattu pakatulle jätteelle. Syöttösiilot on varustettu kahdella pohjassa olevalla ruuvikuljettimella, joiden nopeutta automaatio ohjaa.

4.3.1 Turbo

Turbon tehtävä on erotella jäte niiden pakkauksista. Turbon sisällä on halkaisialtaan 20cm paksu terästanko, johon on kiinnitetty n.5cm pitkiä ja halkaisijaltaan n.3cm paksuja erinäköisiä metallitappeja. Turbon sisäseinämä on hivenen kartion mallinen.

Turbon ollessa toiminnassa, siihen syötetään pakatun jätteen lisäksi ilmaa. Kun terästanko pyörii rikkoo se pakkaukset, kuitenkin kokonaan repimättä niitä pieniksi palasiksi. Painavampana materiaalina orgaaninen aines valuu turbon pohjalle ja sieltä hihnakuljettimelle. Kevyempi pakkausmateriaali jatkaa ilmavirran avulla turbon perälle, josta se poistetaan ja siirretään kuljettimen avulla pakkauksille tarkoitetulle jätelavalle. Kun jätelava on täynnä kuljetetaan pakkausjäte polttolaitokselle energiajätteeksi.

4.4 Kuljetin

Syöttösiilot ja turbo syöttää tuotteen hihnakuljettimelle. Hihnakuljetin on myös varustettu hihnavaa'alla. Automaatio järjestelmä ohjaa eri silloista ja turbosta poistettavan materiaalin määrää, joka mitataan hihnakuljettimen hihnavaa'alla, jolloin sekoitusaltaaseen voidaan muodostaa haluttu raaka-aine seos. Hihnakuljettimen päällä on myös magneettierotin, joka poistaa mahdollisesti jätteen sekaan joutuneet metallin palaset.

4.5 Murskain

Kuljetin tiputtaa tuotteen muskaimeen jossa orgaaninen jäte murskataan pienemmäksi. Kiintoaine murskataan 8mm:n partikkelikokoon koska laitos on tarkoitettu hyväksyttäväksi Eviran lannoitevalmistelain mukaisesti. Lannoitevalmistelaki edellyttää alle 12mm:n partikkelikokoa.

4.6 Sekoitusallas

Murskaimesta saatu kiintoaines putoaa sekoitusaltaaseen, johon lisätään myös nestemäistä jätettä (rejektivesi) ja tarvittaessa puhdasta vettä, jotta kiintoainepitoisuus saadaan laskettua n.13%:in. Sekoitusaltaan tarkoitus on säätää kiintoainepitoisuus halutulle tasolle, tehdä seoksesta homogeeninen ja toimia puskurivarastona hygienisointia varten. Samalla kun murskattu kiintoaine ja vesi on sekoitettu, alkaa prosessissa tapahtumaan myös hydrolyysi.

Sekoitusaltaassa oleva lapasekoitin pyörii hitaalla nopeudella, jotta mahdolliset muovipalaset ehtivät nousta pintaan ennen joutumista poistoputkeen. Sekoitusaltaan poistoputki ei ole aivan pohjassa, jolloin pohjalle valuva raskas aine, kuten hiekka ei pääse vasinaiseen prosessiin, josta se on äärimmäisen hankala poistaa. Sekoitusallas pyritään aina pitämään mahdollisimman täynnä. Alahälytys altaassa tulee hyvissä ajoin ennen poistoputkea, jotta turbosta mahdollisesti kuljetushihnalle päässeet muovipalaset, jotka kelluvat pinnalla eivät myöskään joudu prosessiin.

Sekoitusaltaasta raaka-aine pumpataan epäkeskolla ruuvipumpulla kahden lämmönvaihtajan läpi hygienisointiin. Oletuksena on, että alussa raaka-aine on 5°C ja sen lämpötila nousee 20°C molemmissa lämmönvaihtajissa, joten se on esilämmitetty 45°C ennen hygienisoinnin lämmitystä. Lämmönvaihtajat on putkilämmönvaihtajia, joissa sisempi putki on halkaisijaltaan 80-160mm ja ulompi 160-200mm.

4.7 Hygienisointi

Prosessissa on neljä hygienisointi säiliötä, jotka toimivat neljän tunnin syklissä. Jokainen vaihe kestää yhden tunnin ja siirtyy sitten automaattisesti seuraavaan. Vaiheet ovat:

- Täyttö
- Lämmitys
- Lämmön ylläpito
- Tyhjennys

Koska raaka-aineesta on tarkoitus tehdä kaupallista tuotetta on se hygienisoitava (70°C , 1h) joko reaktoreita ennen tai jälkeen (Evira lannoitevalmistelaki, Finlex 1397/2010 1§). Hygienisointi on prosessin ainoa osa, joka on panostyyppinen reaktio, kun kaikki muut ovat jatkuvatoimisia.

Hygienisoinnista seos pumpataan reaktoreihin lämmövaihtimen kautta (jälkimmäinen lämmönvaihdin), jolloin lämpötila laskee $70^{\circ}\text{C} > 50^{\circ}\text{C}$. Lämpötila pyritään laskemaan alle 60°C , jotta lämpötila ei vaikuta mikrobien toimintaan (korkea lämpötila tuhoaa mikrobeja). Lämmönvaihtimen jälkeen pH säädetään sopivaksi joko NaOH:n tai H_2SO_4 :n avulla ja seokseen lisätään orgaaninen vaahdonestoaine.

4.8 Reaktori

Laitoksessa on kaksi reaktoria. Reaktorit on valmistettu teräksestä ja vuorattu 200mm eristeellä, jolloin lämmitystarve on mahdollisimman pieni. Reaktorit ovat kokonsa vuoksi sijoitettu ulos (1100m^3). Reaktoreissa on sekä, mutta se on hidas (1-3rpm). Reaktoreiden pohjalla kulkee poimutettu putki jossa kulkee lämmitysvesi. Reaktio pyritään pitämään jatkuvasti 37°C lämpötilassa. Reaktoreissa vallitsee jatkuvasti pieni ylipaine. Reaktorissa seoksella on laskettu n.21 päivän kiertoaika.

Reaktorin yläosa toimii myös kaasuvälikamiona. Reaktorin päällä sijaitsee myös kaksi ikkunaa reaktorin eri puolilla, joista voidaan tarkkailla reaktiota reaktoreissa. Kaksi läpinäkyvää ikkunaa sen takia, koska reaktorin sisälle ei voi mennä, koska yläosa on täynnä kaasua ja samasta syystä sinne ei myöskään voi laittaa valoa, joten valo täytyy näyttää toisesta ikkunasta, kun reaktiota seurataan toisesta. Reaktorin katossa on myös poistoputki syntyneelle kaasulle.

Reaktorien pohjasta poistettava seos kulkee ensimmäisen lämmönvaihtimen läpi, jolloin lämpötila saadaan laskettua $37^{\circ}\text{C} > 17^{\circ}\text{C}$.

4.9 Kaasun käsittely

Reaktorin huipulta poistetaan kostea kaasu ohjataan vesilukkoon, jossa osa vedestä kondensoituu putken sisäpintaan ja poistuu vesilukon kautta. Vesilukon kautta kaasu pääsee ilmoille, jos kaikki muut varokeinot ovat jostain syystä pois käytöstä.

Vesilukosta kaasu ohjataan kaasukelloon, joka on metallirungon sisälle asennettu muovipussi, joka laajenee ja supistuu kaasumäärän mukaan. Kaasukello toimii väli-varastona kaasulle ja tasoittaa painetta.

Kaasukellosta kaasu kulkeutuu rinnakkaisille suodattimille (aktiivihiili), joissa mahdollisesti kaasun mukana kulkeutuneet hiukkaset poistetaan. Suodatuksen jälkeen kaasu kuivataan, jäähdyttimen avulla, jossa kaasun lämpötila lasketaan tasolle 4°C, jolloin kastepiste laskee ja loput vedestä saadaan tiivistymään nesteeksi.

4.10 Soihtu

Soihtu on täysin itsenäinen laite ja siinä on oma paikallisautomaatio, mikä mittaa putkistossa vallitsevaa painetta. Mikäli kaasu säiliöt ovat täynnä ja kaasua ei voida käyttää samaa tahtia nousee paine putkistossa ja kaasu kulkeutuu automaattisesti soihdulle, jossa se vain poltetaan. Soihdussa on kaksi tehoaluetta (paine aluetta), mikäli paine nousee käynnistyy kaasupoltin ensin 50kW teholla ja mikäli paine jatkaa silti nousemista käynnistyy soihtu täydellä teholla (250kW).

Koska soihtu on varolaite ei tehdas automaatio saa vaikuttaa sen toimintaan. Soihdulta menee hälytykset tehtaalle, mutta sitä ei voi ohjata mitenkään. Soihdulle vievässä putkistossakaan ei ole venttiilejä, ainoat venttiilit ovat soihdussa itsessään, mitkä voidaan manuaalisesti sulkea huollon ajaksi.

Metaani voitaisiin päästää myös sellaisenaan ilmaan, koska se haihtuu nopeasti, mutta se on pahempi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi.

4.11 CHP

CHP (Combined Heat and Power) yksikkö on muokattu diesel moottori, jota voidaan käyttää maakaasulla ja biokaasulla. Moottorin akseli on liitänä yksikön avulla kiinni generaattorissa. Euroopassa sähköverkko toimii 50Hz taajuudella, joten moottori pyörii 1500rpm nopeudella, jolloin generaattorista saadaan sama taajuus.

CHP yksikön moottoriin syötettävä ilma otetaan Recwellin kehittämän injektoripiipun kautta. Injektori piippu on n.10m korkea rakennelma. Laitoksen sisällä oleva poistoilmahuuhallin syöttää ilman injektoripiipun alaosaan. Injektori piippu on rakennettu niin, että häiriötilanteissa, jolloin chp yksikkö ei ole käytössä sisältä poistettava ilma poistuu injektoripiipun yläosasta (asennuspaikka vaikuttaa piipun korkeuteen), jotta poistuvat hajukaasut leviävät mahdollisimman laajalle alueelle. Maakaasulaki kieltää imuilman ottamisen sisätiloista, koska mahdollisessa häiriötilanteessa poltettavat kaasut voivat vuotaa väärään suuntaan ja kulkeutua laitoksen sisälle ja sopivassa ilmasuhteessa on räjähtävä aine. Injektori piippu on kuitenkin suunniteltu niin, että kyseisessä tilanteessa ilmaa kevyempi metaani poistuu injektoripiipun huipulta ja haihtuu ympäristöön.

Generaattori kytketään varolaitteiden ja tahdistimen avulla sähköverkkoon, joka mahdollistaa energian myynnin sähköverkkoon. CHP-yksikössä muodostuva hukkalämpö talteen otetaan moottorin jäähdytysvedestä, sekä pakokaasulämmönvaihtimesta ja siirretään erillisen lämmönvaihtimen kautta laitoksen vesiverkostoon ja sieltä kaukolämpöverkostoon.

4.12 Lannoitteen varastointi

Reaktorista tuleva mädäte on vielä nestemäistä ja se täytyy erotella nestemäiseen ja kiinteään (lapioitavissa) lannoitteeseen, jonka kiintoaine pitoisuus on n.20%. Molemmille aineille on omat varastot, kuiva-aineelle (humus) on oma varastohalli ja nestemäiselle on oma vuorattu allas. Reaktorista tuleva seos syötetään humusvaraston toiseen kerrokseen, jossa on kuivain sijaitsee. Koska mädätteen lämpötila on las-

kettu mahdollisimman alas on höyryämisen määrää saatu myös laskemaan, mikä talvisin voi jäätyä rakenteisiin.

Kuivaimena käytetään ruuvikuivainta, jonka toimintaperiaate on sama kuin ruuvi kuljettimen, mutta se on kartion mallinen. Neste poistuu seulan raoista ja kiinteä kulkee ruuvin avulla seulassa ylöspäin ja samalla lietteen tilavuus pienenee. Kiinteä humus putoaa ruuvikuivaimen perästä alas humusvaraston ensimmäiseen kerrokseen, missä sitä siirretään kauhakuormaimella. Humus varasto on myös varustettu kahdella nosto-ovella, joista rekat voivat ajaa sisään lastausta varten.

Ruuvikuivaimesta saatava neste valuu pieneen säiliöön, josta voidaan aina tarvittaessa pumpata nestettä sekoitusaltaaseen kiintoainepitoisuuden tasaamiseen. Ylivuoto valuu painovoiman avulla putkistoa pitkin nestelannoitevarastoon. Nestelannoitevarasto on pihalle valettu allas, joka on vuorattu muovilla. Altaan vierellä on pumppaus- asema, jonka viereen säiliöautot voivat ajaa ja täyttää säiliöt lannoitteella.

5 EXCEL

Esisuunnitteluun tarkoitettu työkalu on toteutettu excel- taulukkolaskentaohjelmistolla ja siinä on viisi erillistä osuutta. Ensimmäinen on prosessiteknillinen laskenta, jossa esitetään laitokselle tuotavat raaka-aineet, päälaitteiden mitoitus ja energian tuotanto. Toinen osuus on asiakkaalle tulostettava yhteenveto edellä mainitusta taulukosta yksi. Kolmas osuus on asiakkaalle tulostettavassa tase laskelma kyseisestä laitoksesta. Neljäs osuus on Recwell Oy:n tekemä biokaasulaitos yrityksen talous laskelma, johon päivittyy myytävä energia, lämpö ja lannoitteet, sekä vastaanotettavan jätteen yrityksen taloudellista laskentaa varten. Viides osuus on Rewell Oy:n tekemä koko investoinnin kassavirta analyysi kuudelletoista vuodelle, johon päivitetään investointi suuruus ja saadaan kannattavuus laskelmat kyseiselle investoinnille.

5.1 Prosessiteknillinen laskenta

Taulukkoon syötetään asiakkaalta saatavat biojätelajikkeet ja niiden ajatellut määrät vuositasolla. Nykyään erilaisista jätteistä ja raaka-aineista on saatavilla suhteellisen luotettavaa tietoa, sekä kokemuseräistä, että tutkittua, jätelajikkeiden kiintoaine pitoisuudesta, sekä orgaanisen aineksen määrästä. Samoten kuin on myös kokeellista tietoa kuinka paljon kyseisestä jätelajikkeesta saadaan tuotettua biokaasua.

Prosessiteknillisessä osiossa on mainittu mesofiilinen ja termofiilinen reaktio. Prosessi vaihtoehtoilta ei ole suurta vaikutusta reaktorin tilavuuteen. Termofiilinen prosessi on nopeampi, eli reaktorit voisi olla pienempiä. Käytännössä termofiilinen prosessi on kuitenkin hankalampi hallita ja häiriöiden lukumäärä on huomattavasti korkeampi kuin mesofiilisella prosessilla. Kyseisessä laskennassa käytetään mesofiilistä prosessia.

Reaktorin mitoituksessa on merkitty käsittely aika 8 ja 30 päivää, joka on kirjallisuudesta ja kokeiden perusteella erilaisille raaka-aineille saatuja mädätys aikoja. Esi-

merkiksi joillakin vihanneksilla ihanteellinen läpimeno aika on jopa kahdeksan vuorokautta, mutta toisille aineille jopa 21 vuorokautta on liian lyhyt aika. Kyseisessä laitoksessa käytetään 21 vuorokauden käsittely aikaa, koska se on Eviran vaatima vähimmäisaika, jos laitos halutaan lannoitevalmistelain piiriin. Evira on määrännyt kyseisen käsittelyajan, koska lanta sisältää E. coli-bakteereja, joiden tuhoutumiseen tarvitaan 21 päivän viive prosessilämpötilassa. Vaikka laitoksessa ei käsitelläkään lantaa, on se silti mitoitettu 21 vuorokauden mukaan.

Laitos voisi toimia yhdellä reaktorilla, mutta koska reaktorit sisältävät mikrobikantoja, voi siellä esiintyä prosessihäiriöitä, joten on suositeltavaa, että reaktoreita on vähintään kaksi. Näin todennäköisesti aina toinen reaktori on toiminnassa. Kaksi reaktoria siitä syystä, että laitos sitoutuu ottamaan tietyn verran jätettä vastaan vuosisopimuksella ja mikäli laitoksessa on vain yksi reaktori jouduttaisiin koko laitos sulkemaan mahdollisen vian takia. Näin välttyään taloudellisilta tappioilta, vaikka toinen reaktoreista olisikin pois käytöstä. Lisäksi, jouduttaessa syystä tai toisesta tyhjentämään toinen reaktoreista, kestää mikrobikannan kasvu noin kaksi kuukautta, kun se kasvatetaan alusta asti. Kahdella reaktorilla saadaan aina toisesta reaktorista siirrettyä valmis ympäri toiseen reaktoriin.

5.1.1 Laskuesimerkki

Esimerkissä Lasketaan Excelissä käytetyn rasvan teoreettinen metaanin maksimituotanto päivässä. Laskussa käytetään Buswell-Mullerin kaavaa. Vertailuna käytetään 1kg rasvamäärää (=triglyseridi).

Rasvan moolimassa: $M(C_{57}H_{110}O_6) = 57 \cdot 12 \text{ g/mol} + 110 \cdot 1 \text{ g/mol} + 6 \cdot 16 \text{ g/mol}$
 $= 890 \text{ g/mol}$.

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1000 \text{ g}}{890 \text{ g/mol}} = 1,12 \text{ mol}$$

Rasva hajoaa kaavan (1) mukaisesti:



Prosessiin lisätään vettä, jotta seos on pumpattavissa, eli varsinaiseen prosessiin vaadittavaa vettä on ylimäärin.

$$n(CH_4) = 40,75 * 1,12 \text{ mol} = 45,79 \text{ mol}$$

Saanto ilmoitetaan normaalikuutiona (NTP)

$$V(CH_4) = \frac{\frac{22,4 \text{ dm}^3}{\text{mol}} * 45,79 \text{ mol}}{1000} = 1,03 \text{ n} - \text{m}^3$$

Todetaan, että yhdestä kilosta eläinrasvaa saadaan teoriassa n. 1 n-m³ metaania.

Excelissä saannoksi saatiin kuitenkin 0,7n-m³. Excelistä saadun pienemmän arvon selittää se, että prosessiin syötettävä rasva on pääasiassa rasvakaivoista, eikä se ole pelkkää rasvaa, vaan sisältää myös muuta orgaanista ainetta. Varsinainen prosessi ei myöskään ole täydellinen, koska prosessissa ei ole peräkkäisiä reaktoreita, joten prosessista poistuu orgaanista ainetta.

LÄHTEET

1. Bioste. Viitattu 13.6.2015

<http://bioste.fi/bioenergia/biokaasu/>

2. Evira lannoitevalmistelaki

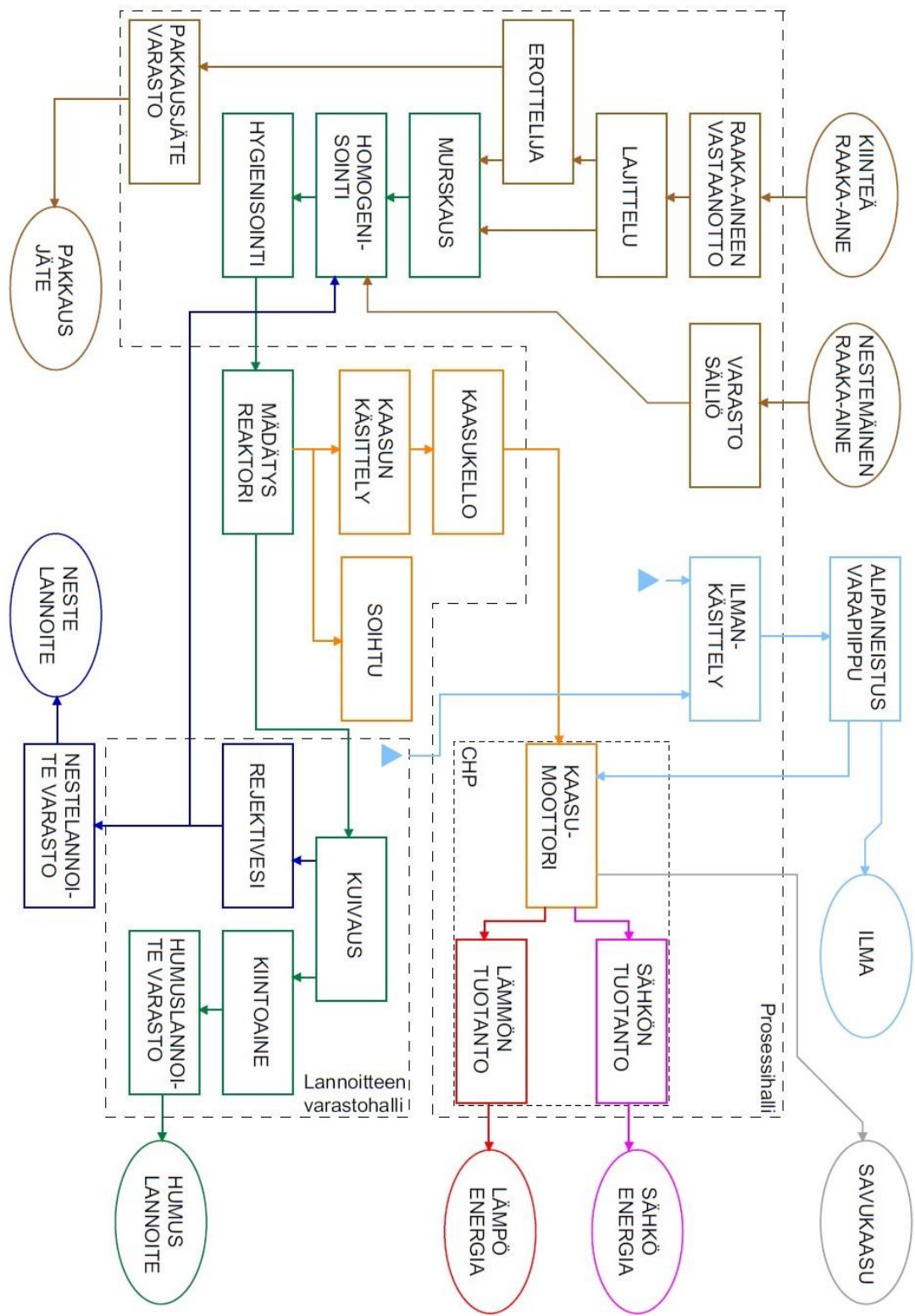
<http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely+ja+tuotanto/lannoitevalmisteet/lainsaadanto/>

3. Ympäristöministeriö. Jätealan lainsäädäntö. Viitattu 1.10.2015

[http://www.ym.fi/fi-fi-Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Ymparistonsuojelun_valmisteilla_oleva_lainsaadanto/Jatealan_lainsaadannon_kokonaisuudistus](http://www.ym.fi/fi-fi/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Ymparistonsuojelun_valmisteilla_oleva_lainsaadanto/Jatealan_lainsaadannon_kokonaisuudistus)

4. Recwell Oy. Hiltula Unto. Projektipäällikkö, Henkilökohtainen tiedonanto.

Lohkokaavio



Turbo



Tulostus sivu



Asiakas: 20000
 Laitoskoko: tn/a
 PVM.

MITOITUSLASKELMA

Recwell Oy

Rev.

Laitoksen mitoitusarvot perustuvat asiakkaan antaamiin jätemääriin ja lajikkeisiin.

Laskelmat on suoritettu jokaiselle jäteleijille arvioituista kiintoaine- ja orhaanisen aineen pitoisuusmääristä
 Orgaanisen aineen kaasuntuotantokyky perustuu tutkimustuloksiin ja kokemusoeräisiin mittauksiin.

Tilaajan ilmoittamat raaka-ainetiedot		Jätteen laatuarviot ja kaasuntuotantolaskelmat			
Raaka-ainetyyppi	Määrä tn/a	Ka.pitoisuus		CH ₄ tuotto	
		TS %	Org.aine VS/TS %	m ³ CH ₄ /t org	CH ₄ tuot- to m ³ /d
Biojäte (ei pakkauksia)	5000	18	93	550	1261
Pakattu biojäte	6700	18	93	450	1383
Rasvakaivojäte	3000	15	95	700	820
Elintarviketeollisuuden liete	4300	20	95	700	1567
Hävitettävät tuotteet (etanoli)	0				
Omana ja ,haravointijäte	500	25	93	400	127

Kaasun tuotanto			
		Nm ³ /d	Nm ³ /a
	Biokaasun määrä	7585	2768693
	Metaanin määrä	5158	1882711
	Metaanipitoisuus	68 %	
	Kaasun sisältämä energia	kWh/d	MWh/a
		51 581	18827

Biokaasulaitoksen energian tuotanto ja kulutus (sähkö+lämpö)			
	Sähköntuotannon hyötysuhde	34 %	
	Lämmöntuotannon hyötysuhde	50 %	
		kWh/d	MWh/a
	Sähkön tuotanto	17 538	6401
	Lämmöntuotanto	25 791	9414
	Omakäyttösähköenergia	1 754	640
	Omakäyttölämpöenergia	7 737	2824
Kaikki sähköenergiaksi	Sähköenergia myyntiin	15 784	5761
Sähköntuotannon sivutuote	Lämpöenergia myyntiin	18 053	6589

(X) =

Sähkö ja lämpöenergia myyntiin silloin kun kaikki biokaasu jalostetaan

sähköksi ja lämmöksi.
Laitoksella ei tuoteta liikennepolttoainetta

Liikennepolttoaineen jalostus tapahtuu samassa biokaasulaitoksessa.
Biokaasusta tuotetaan sähköenergiaa biokaasulaitoksen ja kaasub jalostuksen käyttöön
Sähkön tuotannon sivutuotteena syntyvä ylimääräinen lämpöenergia myyntiin

Liikennepolttoaineen valmistus ja myynti			
Puhdistus ja paineistus biokaasulaitoksen yhteydessä			
		kWh/d	MWh/a
Biokaasuöaotos+kaasun jalostus	Omakäyttösähköenergia	3 858	1408
	Omakäyttölämpöenergia	7 737	2824
Kaasun jalostuksen lisäsähkön sivutuote CH ₄ >96%,200/250 bar	Lämpöenergia myyntiin	3 095	1130
	Liikennepolttoainetta myyntiin	36 891	13465

Korvaavuus nestemäisiin polttoaineisiin		
	l/d	l/a
Korvaa dieseliä	3 689	1346515
Korvaa bensiniä	4 058	1481166

Päästöjen vähennys luontoon (diesel)				
			kg/d	tn/a
Euro 5	Hiilidioksidi	CO ₂	9 720,73	3 548,07
	Häkä	CO	55,34	20,20
Euro 5	Hiilivedyt	HC	16,97	6,19
Euro 5	Typenoksidit	Nox	73,78	26,93
Euro 5	Hiukkaset		0,74	0,27
	Rikkidioksidi	SO ₂	0,02	0,01
	Typidioksidi	B ₂ O	0,16	0,06

Lannoitetuotannon laskelma			
		<i>m3/d</i>	<i>m3/a</i>
Mädätteen poisto reaktorista	75,3		27500
- mädätteen poistosakeus	12,1	%	
		<i>m3/d</i>	<i>m3/a</i>
Humuslannoitemäärä	36,0		13145
- kiintoainepitoisuus	25	%	
		<i>m3/d</i>	<i>m3/a</i>
Nestelannoitemäärä	17		6355

Biokaasureaktorin mitoitus			
		<i>tn/h</i>	<i>tn/d</i>
Raaka-aineen syöttömäärä	2,2		53,4
Laimennusvesi	0,9		21,9
Kiintoainetta reaktoriin	9701	<i>kg/d</i>	
Reaktorin kuormitus	5,8	<i>kgVS/r- m3/d</i>	
Syöttösakeus	13	%	
Materiaalin viipymäaika	21	vrk	
Reaktorin nestetilavuus	1582	m3	
Yläosan kaasutilavuus	316	m3	
Bruttotilavuus	1899	m3	
Reaktoreiden määrä	2	kpl	
Reaktorin rakennetilavuus	949	m3	
- korkeus	12	m	
- halkaisija	10	m	

Kaasukellon mitoitus		
Biokaasun tuotanto	316	<i>Nm3/h</i>
Kaasuvarasto reaktoreissa	316	<i>m3</i>
Huoltoaika	2,5	<i>h</i>
Kaasun varastointitarve	790	<i>m3</i>
Kaasukellon min. tilavuus	408	<i>m3</i>
- kaasun paine	30	<i>kPa</i>
Varosoihdun kapasiteetti	50 / 300	<i>Nm3/h</i>
- kaksivaiheinen		

CHP-yksikön mitoitus		
Biokaasumäärä	316	<i>Nm3/h</i>
Metaanipitoisuus	68	<i>%</i>
Kaasun energiasisältö	2149	<i>kWh</i>
CHP-yksiköiden lukumäärä	2	<i>kpl</i>
Moottorin antoteho	265	<i>kW</i>
	330	<i>kVA</i>
Generaattoriteho	250	<i>kW</i>
Lämpöteho	370	<i>kW</i>

Prosessiteknillinen laskelma

BIOKAASULAITOKSEN PERUSMITOITUS

RAAKA-AINEET	Syötteen määrä		Op t/m3	m3/d	Kiintoaine m3/d	Vesi m3/d	VS m3/d
	t/a	TS%					
Biojäte (ei pakkauksia)	5000	18	1	13,70	2,47	11,23	2,29
Pakattu biojäte	6700	18	1	18,36	3,30	15,05	3,07
Rasvakaivojäte	3000	15	1	8,22	1,23	6,99	1,17
Elintarviketeollisuuden liete	4300	20	1	11,78	2,36	9,42	2,24
Hävitettävät tuotteet (etanolii)	0	0,1	1	0,00	0,00	0,00	0,00
Omana ja ,haravointijäte	500	25	1	1,37	0,34	1,03	0,32
A			1	0,00	0,00	0,00	0,00
B			1	0,00	0,00	0,00	0,00
C Kierrätysvesi	8000	0	1	21,92	0,00	21,92	
Raaka-aineet yhteensä	19500	12,88		75,34	9,70	65,64	9,09

max. 13-15%

METAANIKAASUN TUOTANTO

	m3CH4/t		VS/TS Suhde %	m3CH4/t	
	min.	max.		org.aineesta	m3CH4 / d
Biojäte (ei pakkauksia)	500	600	93	550	1261
Pakattu biojäte	300	600	93	450	1383
Rasvakaivojäte	600	800	95	700	820
Elintarviketeollisuuden liete	600	800	95	700	1567
Hävitettävät tuotteet (etanolii)	0	0	0	0	
Omana ja ,haravointijäte	300	500	93	400	127
A					
B					
C Kierrätysvesi					
Metaanin (CH4) tuotanto päivässä					5158

Nm3/d

Kaasutuotanto vuodessa

1 882 711 Nm3/a

REAKTORIN MITOITUS

	Lämpötila				
	min.	max.			
Mesofiilinen	35	37			
Termofiilinen	50	55			
				Tilavuus m3	
Käsittelyaika (vrk)	8	30		21	1582
Kaasutilavuus	20	30	%	20	316
Reaktoritilavuus yhteensä					1899
					m3
Biokaasureaktoreiden määrä	1	2	kpl	2	949
					Yhden reaktorin V

- Reaktorin mitat	Syötä korkeus [m]	12	12,00	Korkeus (h)
- Mitoitussuhde h/D		10,03875	10,04	Halkaisija (D)
- Vaipan +päättyjen pinta-ala		1,195368	695	m ²
<i>Kapasiteettivaihteluväli</i>				
- Käsittelyaika min.	16	vrk	25594	max t/a
- Käsittelyaika max.	26	vrk	15750	min t/a

Reaktorin kuormitus				
- Kiintoainetta reaktoriin	9701	kg/d		
- Orgaanisen aineen osuus	94	%		
- Reaktorin kuormitus			5,76	kgVS/r-m ³ /d

Tyypillinen 3 - 9 kgVS/r-m³/d
(orgaanista ainetta reaktorin nestetilavuutta ja vuorokautta kohden)

KAASUSÄILIÖN MITOITUS

- Metaanin (CH ₄) tuotanto päivässä	5158	m ³ /d	Biokaasu	7585	m ³ /d
- Kaasun metaanipitoisuus min.	max.				
55	70	%			
	Mitoitusvalinta		68	68	CH ₄ %
	%				
CHP-jatkuvatoiminen					
- Kaasunkulutuksen keskeytysaika			2,5	2,5	h
- %-vuorokauden käytöstä	(20 -- 50)			10,4	%
- Kaasun varastoinnin tilavuustarve				790	nm ³
- Kaasutilavuus reaktoreissa				380	
- Kaasukellon paine	0,003	bar			
- Kaasukellon tilavuus				408	m ³

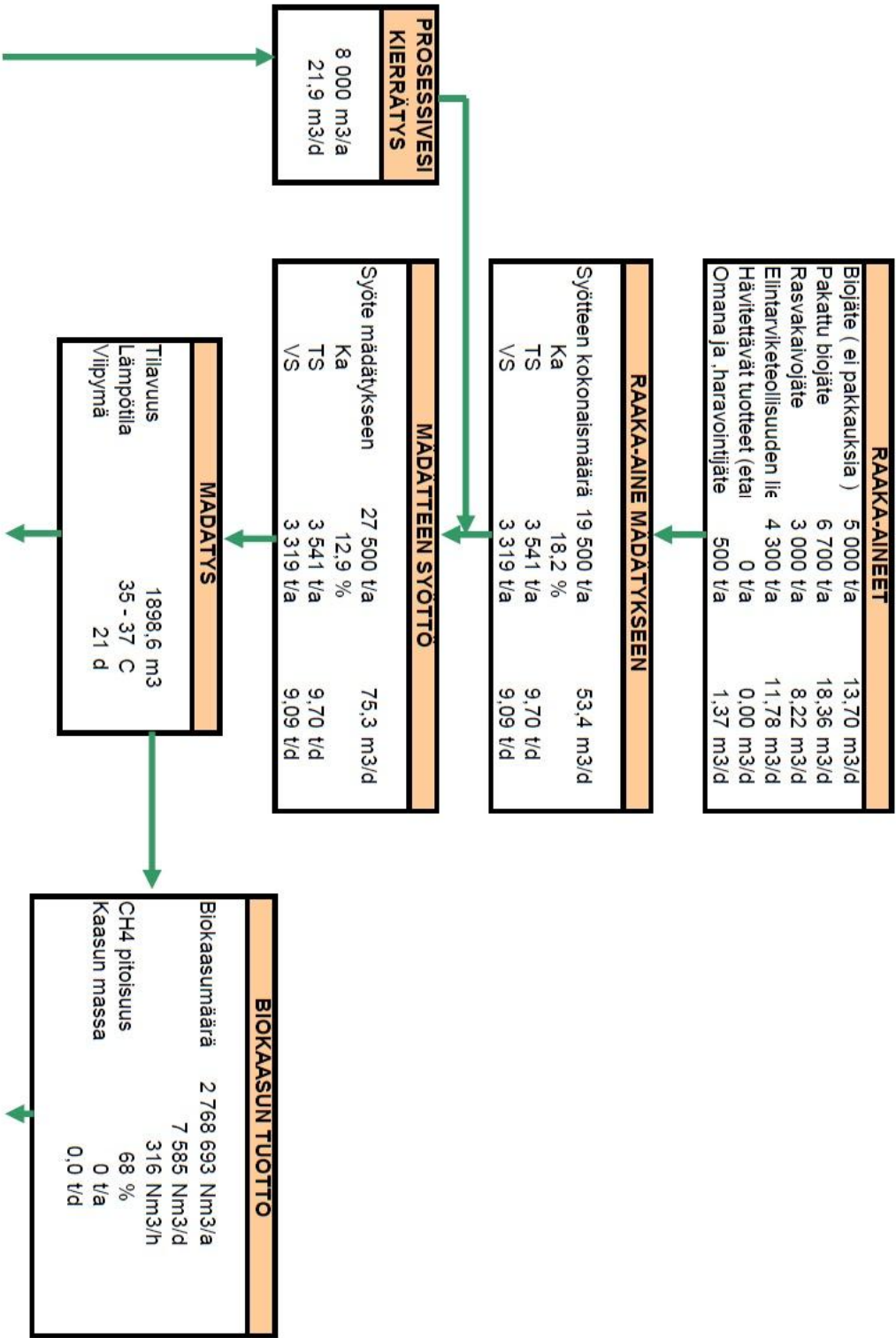
	Hyötysuhde	Tuotto	Omakäyttö	Myyntiin
kWh/d	%	kWh/d	% kWh/d	kWh/d
51 581	34	17 538	10	1 754
	50	25 791	30	7 737
	Kok.	43 328		33 837
	%	84		

Generaattori teho 731 kW

HYGIENISOINNIN LÄMMÖNTARVE

Syötteen tulolämpötila	15	C	
Hygienisointilämpötila	70	C	
Häviöt	25	%	
Tarvittava lämmitysenergia			6043 kWh/d

Massatase



MADATTEEN POISTO			
Poiste mädätyksestä	27 500 t/a	75,3 m3/d	
Ka	12,1 %		
TS	3 319 t/a	9,09 t/d	
VS	3 319 t/a	9,09 t/d	

LIETTEEN KUIVAUS

REJEKTIVESI			
Rejektiveden määrä	39,3 m3/d	14 355 m3/a	
Ka	1 %		
TS	0,09 t/d	33,2 t/a	
VS	0,09 t/d	33,2 t/a	

KUIVATTU MADATE			
Kuivatun mädätteen määrä	36,0 m3/d	13 145 m3/a	
Ka	25 %		
TS	9,00 t/d	3 286 t/a	
VS	9,00 t/d	3 286 t/a	

NESTELANNOITE			
Nestelannoiteen varastointitarve (12 kk)	6 355 m3		
Ravinnepitoisuusosuus	80 %		
N tot	90 %		
N amm.	15 %		
P tot	5 %		
Lannoiteravinmäärät			
N tot	2,40 g/kg	37 440 kg/a	
N amm.	1,00 g/kg	17 550 kg/a	
P tot	0,35 g/kg	1 024 kg/a	
K	5,69 g/kg	5 548 kg/a	

KUIVATTU HUMUSLANNOITE			
Humuslannoiteen varastointitarve (12 kk)	13 145 m3		
Ravinnepitoisuusosuus	20 %		
N tot	10 %		
N amm.	85 %		
P tot	95 %		
Lannoiteravinmäärät			
N tot	2,40 g/kg	9 360 kg/a	
N amm.	1,00 g/kg	1 950 kg/a	
P tot	0,35 g/kg	5 801 kg/a	
K	5,69 g/kg	105 407 kg/a	

CHP - YKSIKKO			
Tuotekaasun energiasisältö		18 827 MWh/a	
Energia	51 581 kWh/d		
Sähkö			
- hyötysuhde	34 %		
- sähköenergia	17 538 kWh/d		
Lämpö			
- hyötysuhde	50 %		
- lämpöenergia	25 791 kWh/d		

ENERGIAN OMAKAYTTO			
Sähkö	10 %		
Energia	1 754 kWh/d		
Teho ka.	73 kW _e		
Lämpö	30 %		
Energia	7 737 kWh/d		
Teho ka.	322 kW _t		

ENERGIAN MYYNTI			
Sähkö	90 %		
Energia	15 784 kWh/d		
Teho ka.	658 kW _e		
Lämpö	70 %		
Energia	18 053 kWh/d		
Teho ka.	752 kW _t		